

УДК 621.311

## Длительность допустимой кратковременной аварийной переменной перегрузки силовых трансформаторов

Адамцевич В.А.

Научный руководитель – д.т. н., профессор Анищенко В.А.

Исходные положения. Мощность силовых трансформаторов выбирается исходя из экономической целесообразности режима работы и надежности электроснабжения электроприемников при условии, что нагрузка трансформаторов не должна по нагреву приводить к снижению естественного срока их службы.

Если не принимать во внимание перегрузочную способность трансформатора, то можно завязать его номинальную мощность. При перегрузке трансформатора износ изоляции витков обмоток, соответствующий установившимся превышениям температур, превышает износ при номинальном режиме. В большинстве случаев допустимость перегрузки предполагает её компенсацию неполными предшествующими и последующей нагрузками.

Действующий стандарт [1] различает систематические и аварийные перегрузки. Трансформаторы общего назначения мощностью до 100 МВ·А допускают систематические перегрузки, зависящие от характера суточного графика нагрузки, температуры охлаждающей среды (масла, воздуха) к степени недогрузки (суточной, сезонной).

Аварийные перегрузки с компенсацией повышенного износа изоляции. Надежность электроснабжения предприятия обеспечивается установкой на понизительной подстанции двух или более трансформаторов. Резервирование позволяет уменьшить номинальную мощность каждого трансформатора. При выходе из строя одного из трансформаторов приходящая на его долю нагрузка распределяется между остальными и может наступить их аварийная перегрузка. Показано [2], что если нагрузка масляного трансформатора, установленного на двухтрансформаторной подстанции, не превышает 0,7 номинальной мощности или 0,93 на трехтрансформаторной подстанции, то его можно перегружать до 5 суток на 40%. При этом продолжительность перегрузки в каждые сутки не должна превышать 6 часов (суммарная продолжительность перегрузки подряд или с разрывами) и необходимо использовать все средства для форсировки охлаждения. Для сухих трансформаторов допускается перегрузка до 20%.

Номинальная мощность масляного трансформатора на двухтрансформаторной подстанции определяется выражением

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{Р.МАКС}}}{0,7 \cdot 2} = 0,714 \cdot S_{\text{Р.МАКС}}, \quad (1)$$

а на трехтрансформаторной подстанции

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{Р.МАКС}}}{0,93 \cdot 3} = 0,358 \cdot S_{\text{Р.МАКС}}, \quad (2)$$

где  $S_{\text{Р.МАКС}}$  - расчетная максимальная мощность подстанции.

В основе такого нормирования аварийной перегрузки лежит предположение [3], что коэффициент заполнения  $\alpha$  суточного графика нагрузки подстанции не превышает 75%, т.е.

$$\alpha = \frac{S_{\text{СР.СУТ}}}{S_{\text{Р.МАКС}}} \leq 0,75, \quad (3)$$

При коэффициенте  $\alpha = 0.714$  среднесуточная нагрузка оставшегося в работе трансформатора (на трехтрансформаторной подстанции каждого из двух) равна (при полной нагрузке подстанции) его номинальная мощность:

$$S_{\text{СР.СУТ}} = \alpha \cdot S_{\text{р.макс}} = 0.714 \cdot \frac{S_{\text{НОМ}}}{0.714} = S_{\text{НОМ}} \quad (4)$$

При  $\alpha = 0.75$  среднесуточная нагрузка трансформаторная составит  $S_{\text{СР.СУТ}} = \alpha \cdot S_{\text{р.макс}} = 0.75 \cdot \frac{S_{\text{НОМ}}}{0.714} = 1.05 \cdot S_{\text{НОМ}}$ , т.е. 105% номинальной мощности. Таким

образом, при соблюдении условий (1-3) аварийные перегрузки, как и систематические, практически не снижают срок службы трансформаторов. Это объясняется компенсацией повышенного, по сравнению с нормальным расчетным, износа изоляции нагрузками с износом ниже нормального.

Кратковременные аварийные перегрузки без компенсации повышенного износа изоляции. При более жестких условиях работы, например, недостаточной мощности установленных трансформаторов, когда номинальная мощность трансформатора на двухтрансформаторной подстанции  $S_{\text{НОМ}} < 0.714 \cdot S_{\text{р.макс}}$  или на трехтрансформаторной  $S_{\text{НОМ}} < 0.358 \cdot S_{\text{р.макс}}$  и отказе одного трансформатора, возможны аварийные перегрузки, значительно превышающие 40%. Кроме того, необходимо считаться с возможностью одновременного выхода из строя двух трансформаторов на трехтрансформаторной подстанции. В последнем случае среднесуточная нагрузка может возрасти до  $S_{\text{СР.СУТ}} = 0.714 \cdot \frac{S_{\text{НОМ}}}{0.358} = 2.0 \cdot S_{\text{НОМ}}$ , т.е. 200% номинальной мощности

трансформатора при коэффициенте заполнения графика  $\alpha = 0.714$ . В связи с этим допускаются кратковременные перегрузки с некомпенсированным износом изоляции. Учитывается, что такие режимы могут встретиться всего несколько раз за весь срок службы трансформатора. Примерная стоимость больших перегрузок не превысит нескольких десятков «отжитых» дней эксплуатации трансформатора и ограничиваться они будут только температурой наиболее нагретой точки обмотки трансформатора [3].

Допустимые для масляных трансформаторов, имеющих системы охлаждения М, Д, ДЦ и Ц, и сухих трансформаторов независимо от длительности предыдущей нагрузки, температуры охлаждающей среды и места установки, кратковременные перегрузки находятся в следующих пределах [4,5]:

Таблица 1. Допустимые кратковременные перегрузки

Тип трансформатора	Масляные						Сухие				
	1,3	1,45	1,6	1,75	2	3	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Кратность перегрузки $K_{\text{п}}$ , о.е.	1,3	1,45	1,6	1,75	2	3	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Допустимая длительность перегрузки $t_{\text{п}}$ , мин	120	80	45	20	10	1.5	60	45	32	18	5

Зависимость допустимой длительности перегрузки от кратности перегрузки  $K_{\text{п}} = \frac{S_{\text{п}}}{S_{\text{НОМ}}}$ , где  $S_{\text{п}}$  - мощность перегрузки, можно аппроксимировать следующим образом:

- для масляных трансформаторов (рисунок 1, а)

$$t_{\text{п}} = 503,06 \cdot K_{\text{п}}^{-5,396}, \quad (5)$$

- для сухих трансформаторов (рисунок 1, б)

$$t_{\text{п}} = 21.429 K_{\text{п}}^2 - 197 K_{\text{п}} + 265,37. \quad (6)$$

Переменные кратковременные аварийные перегрузки. Стандартные перегрузочные кривые (4) и (5) предназначены для определения допустимой длительности постоянной кратковременной перегрузки ( $K_{\Pi} = const$ ). Их можно также использовать при перегрузках, изменяющихся во времени ( $K_{\Pi} = var$ ) в процессе развития аварии вследствие разных факторов. Наличие на подстанции информационно-измерительной системы даёт возможность организовать непрерывное отслеживание фактической перегрузки с шагом временной дискретизации  $h = \frac{t}{n-1}$ , где  $n$  - число измерений за время  $t$  аварии. При этом можно учесть влияние на длительность допустимой перегрузки не только её непостоянство, но и возможную кратковременную недогрузку в процессе аварии.

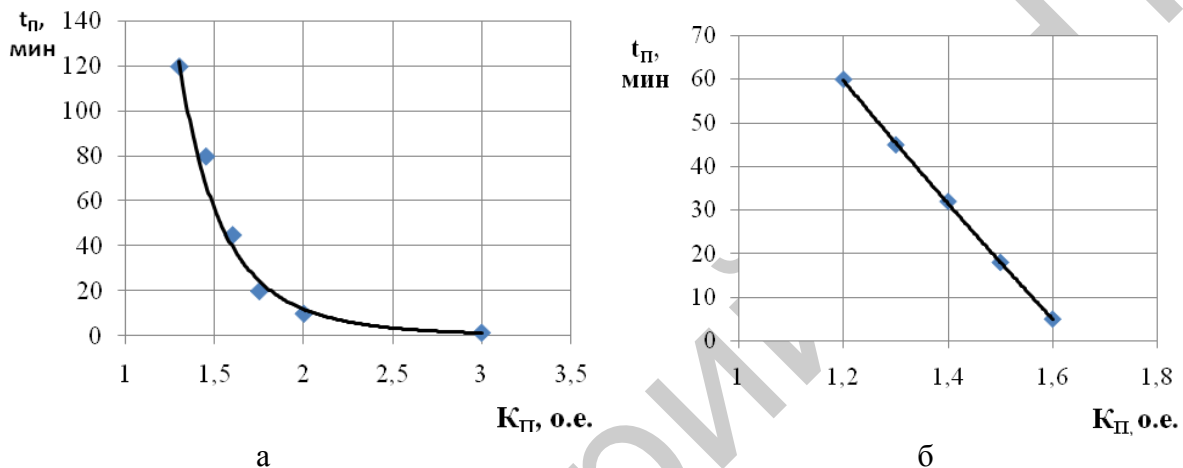


Рисунок 1. Допустимая длительность постоянной перегрузки.

а – масляные трансформаторы; б – сухие трансформаторы

Запас длительности в момент времени  $t$  допустимой постоянной перегрузки, возникшей в начальный момент времени  $t = 0$ , определяется из выражения:

$$\Delta t_{\text{зап}}(t) = t_{\Pi}(0) - t, \quad (7)$$

где допустимая длительность  $t_{\Pi}(0)$  берется из стандартных перегрузочных кривых (4, 5) в функции от измеренной кратности перегрузки  $K_{\Pi}$ .

При переменной перегрузке запас ее допустимой длительности предлагается определять следующим образом:

$$\overline{\Delta t_{\text{зап}}}(t) = \overline{t_{\Pi}}(t) - t, \quad (8)$$

где  $\overline{t_{\Pi}}(t)$  представляет собой допустимую длительность осредненной методом экспоненциального сглаживания переменной нагрузки

$$\overline{K_{\Pi}}(t) = \alpha \cdot K_{\Pi}(t) + (1 - \alpha) \cdot \overline{K_{\Pi}}(t - h), \quad (9)$$

где параметр сглаживания учитывает динамику изменения перегрузки и лежит в пределах  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

Величина  $\overline{\Delta t_{\text{зап}}}(t)$  определяется из тех же стандартных перегрузочных кривых в функции от осредненной кратности перегрузки  $\overline{K_{\Pi}}(t)$ .

Влияние параметра  $\alpha$  на осреднение перегрузки иллюстрирует рисунок 2, изменение во времени запасов допустимой длительности постоянной и осредненной переменной перегрузки показано на рисунке 3. Их сопоставление свидетельствует о необходимости учёта возможного непостоянства кратности перегрузки в ходе аварии.

Запас допустимой длительной осредненной перегрузки по сравнению с постоянной увеличивается с ростом перегрузки и уменьшается при его снижении.

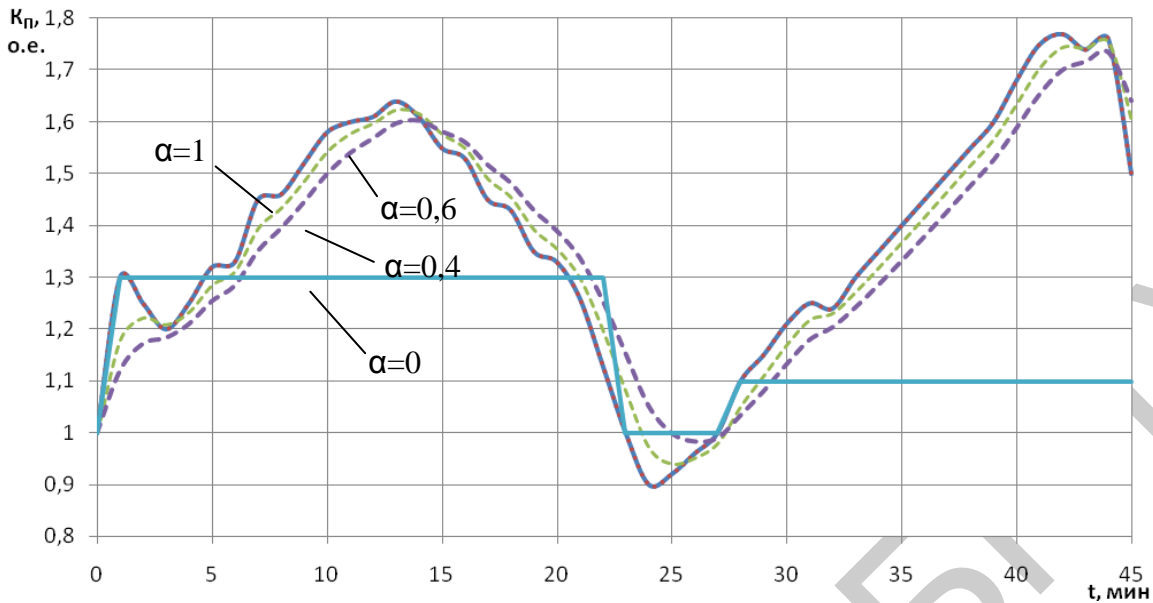


Рисунок 2. Кратности постоянной и переменной перегрузок

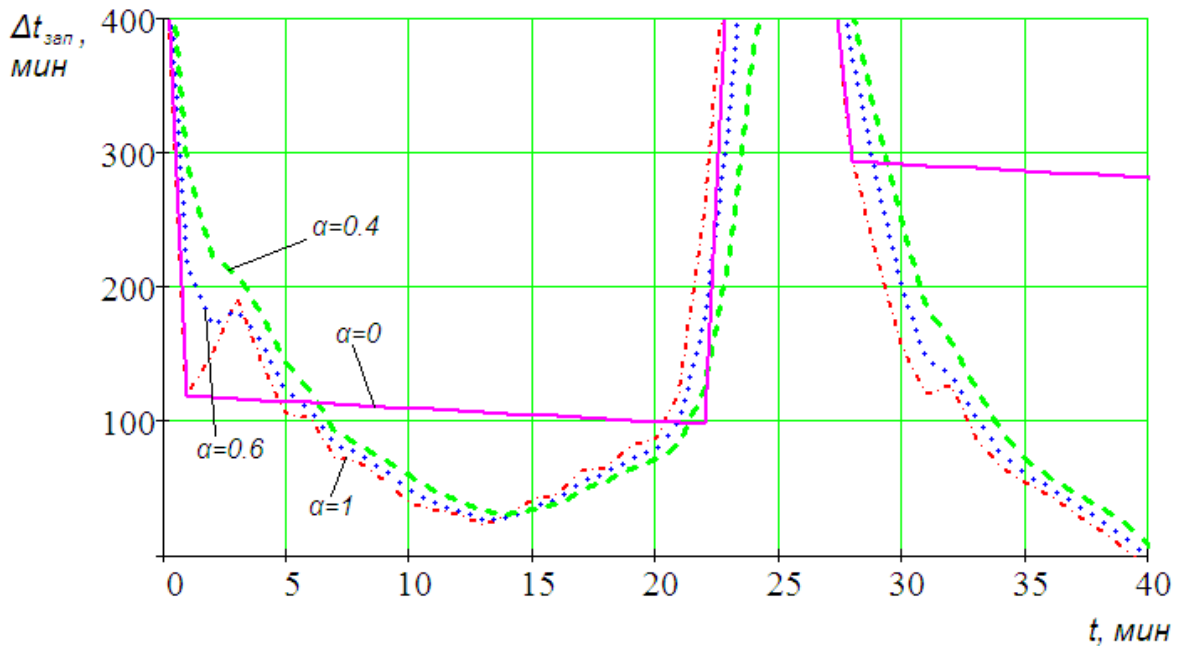


Рисунок 3. Запасы допустимой длительности постоянной и переменной перегрузок

Практическая ценность предложенной метода определения длительности допустимой кратковременной перегрузки зависит от технологического обоснования параметра сглаживания, что требует проведения дополнительного исследования.

#### Литература

1. ГОСТ 14 209-97 Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов.
2. Инструктивные и информационные материалы по проектированию электроустановок. – М.: ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект». – 1996. №5
3. Шницер Л.М. Основы теории и нагрузочная способность трансформаторов. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1959.
4. Справочник по электроснабжению. Т.2. Электрооборудование/ Под общ. Ред. Федорова А.А. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской федерации. – М.: Омега-Л, 2007.